

алу шини; k_C – коефіцієнт, який враховує вплив навколишнього середовища.

Знаючи число циклів, при яких виникають втомливі тріщини, ресурс шини до їх появи між шарами брекера та каркаса можна визначити за залежністю

$$L = 2\pi \cdot R_K \cdot 10^{-3} \cdot N, \text{ тис. км}, \quad (5)$$

де R_K – радіус кочення, м.

Підставивши вираз (4) в (5), отримаємо залежність для визначення ресурса шини через температуру:

$$L = 2\pi \cdot R_K \cdot 10^{-3} N_B \left[\frac{0,15 E_\infty \cdot \nu \cdot \Delta \tau \cdot k_u \cdot W_B}{E \cdot k_D \cdot k_T \cdot k_C \cdot C \cdot \rho \cdot \Delta t} \right]^{n_w}. \quad (6)$$

Отже, за поверхневими температурними полями шини можна визначати наявність в ній внутрішніх дефектів і прогнозувати її технічний стан.

1.Поскачей А.А., Чубаров Е.П. Оптико-электронные системы измерения температуры. – М.: Энергия, 1988. – 248 с.

2.Коханенко В.Б. Разработка методов диагностики внутренних разрушений автомобильных шин в условиях эксплуатации: Дисс... канд. техн. наук: 05.22.20. – Харьков, 2005. – 216 с.

3.Пугин В.А. Экспериментальное исследование деформаций и напряжений в элементах автомобильных шин: Дисс.... канд. техн. наук: 05.17.12. – М., 1964. – 279 с.

Отримано 10.11.2006

УДК 614.8

Ю.А.АБРАМОВ, д-р техн. наук, В.П.САДКОВОЙ
Университет гражданской защиты Украины, г.Харьков

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМЫ ВОДЯНОГО АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ

Получены модели для процесса горения жидкости в условиях воздействия на нее мелкораспыленной водой.

Использование мелкораспыленной воды в системах автоматического пожаротушения (САП) позволяет повысить эффективность их работы [1]. Для реализации потенциальных возможностей таких систем необходимо располагать комплексом математических моделей, описывающих процессы в элементах и устройствах систем, а также иметь в распоряжении соответствующие алгоритмы синтеза.

Применительно к САП основные схемы их построения приведены в [2]. В настоящее время разработаны формальные процедуры для соз-

дания таких систем [3], однако они практически не учитывают свойства объекта управления, в качестве которого служит очаг горения в условиях воздействия на него мелкораспыленной водой. Особо следует заметить, что совсем не учитываются динамические свойства объекта управления. В [4] предложен алгоритм синтеза САП, свободный от рассмотренных недостатков, а в [5] рассматривается в общем виде модель подобного объекта управления. Модель представлена в виде уравнения теплопроводности с аддитивной составляющей, учитывающей мощность внутренних стоков тепла. Решение уравнения в работе не приводится.

Целью работы является получение математических моделей, описывающих объект управления САП, которым является горящая жидкость в условиях ее тушения мелкораспыленной водой применительно к случаю, когда имеет место слабое испарение капель воды, а для жидкости справедлив закон Михельсона [6].

Тепловые процессы в горячей жидкости при ее охлаждении мелкораспыленной водой описываются уравнением [5]

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + v \frac{\partial T}{\partial x} - f(T), \quad (1)$$

где $T(x, t)$ – температура жидкости; a – коэффициент температуропроводности; v – линейная скорость распространения пламени; $f(T)$ – приведенная мощность внутренних стоков тепла, которая определяется выражением

$$f(T) = \frac{I_0 \gamma}{c \rho L} (1 - K_0 - K_1) \left[1 - \left(1 - \frac{4 Nu \lambda L (T - T_B)}{r \rho_B V_2 D_0^2 [V_0 V_1^{-1} (1 - k_0 - k_1)]^{2/3}} \right)^{3/2} \right]. \quad (2)$$

В выражении (2) введены обозначения: I_0 – интенсивность орошения газовой среды (на выходе оросителя); γ – теплота испарения воды; c , ρ – теплоемкость и плотность жидкости соответственно; L – расстояние которое проходит капля воды за время испарения; K_0 , K_1 – коэффициенты испарения воды в газовой среде и на уровне горячей жидкости соответственно; Nu – число Нуссельта; λ – коэффициент теплопроводности жидкости; T_B – температура капли воды; ρ_B – плотность воды; V_0 , V_1 , V_2 – скорость капли воды в газовой среде, у поверхности жидкости и в жидкости соответственно; D_0 –

начальный диаметр капли воды (в газовой среде).

Начальное условие для (1) будет определяться из уравнения Михельсона [6], т.е.

$$T(x,0) = T_0 + (T_k - T_0) \exp\left(-\frac{\psi c}{\lambda} x\right), \quad (3)$$

где T_k , T_0 – температура кипения жидкости и температура окружающей среды соответственно; ψ – массовая скорость выгорания жидкости.

Граничные условия будем полагать такими же, как в [5], т.е.

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=0} = I_0 r K_1 - \psi c (T_k - T_0). \quad (4)$$

Коэффициент испарения воды K_1 представим в виде [5]

$$K_1 = A_1 + B_1 (T - T_B), \quad (5)$$

где A_1 , B_1 – параметры.

В дальнейшем будем полагать, что выражение (2) можно разложить в ряд Тейлора и ограничиться первыми его двумя слагаемыми. В этом случае имеет место

$$f(T) = \frac{I_0 r}{c \rho L} [A_2 + B_2 (T - T_B)], \quad (6)$$

где A_2 , B_2 – параметры.

В том случае, когда имеет место слабое испарение капель воды, $A_1 = A_2 = 0$, а параметры B_1 и B_2 определяются выражениями

$$B_1 = \frac{6\alpha_1 t_1}{\rho_B D_0 r}; \quad B_2 = \frac{6\lambda NuL}{\rho_B V_2 D_0^2 r}, \quad (7)$$

где α_1 – коэффициент теплоотдачи при испарении капли воды на поверхности жидкости; t_1 – время испарения.

Для решения уравнения (1) с условиями (3), (4) и (6) перейдем к безразмерной форме. С этой целью введем обозначения

$$\tau = \frac{v^2}{a} t; \quad z = \frac{v}{a} x; \quad \theta = \frac{T_k - T}{T_k - T_0}, \quad (8)$$

$$\text{а также } f = \frac{I_0 r a B_2}{\rho c L v^2}; \quad h = \frac{I_0 r a A_2}{\rho c L v^2 (T_k - T_0)}; \quad g = \frac{T_k - T_B}{T_k - T_0}; \quad s = \frac{I_0 r B_1}{\rho c v};$$

$$n = \frac{I_0 r A_1}{\rho c v (T_k - T_0)}; \quad d = h + fg; \quad D = n + sg; \quad F = fD - sd; \\ R = f(D - 1) - sd. \quad (9)$$

С учетом обозначений (8)-(9) уравнение (1) совместно с (6), а также условия (3)-(4) трансформируются к виду:

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} + \frac{\partial \theta}{\partial z} + d - f\theta; \quad (10)$$

$$\theta(z, 0) = 0; \quad (11)$$

$$\left. \frac{\partial \theta}{\partial z} \right|_{z=0} = s\theta(0, \tau) - D. \quad (12)$$

Введем новую переменную $V(z, \tau)$ следующим образом

$$\theta(z, \tau) = df^{-1}(1 - \exp(-f\tau)) + (1 - \exp(-z))\exp(-f\tau) - \\ - f^{-1}V(z, \tau)\exp(-0,5z - (0,25 + f)\tau). \quad (13)$$

Уравнение (10) с учетом (13) переписывается в виде

$$\frac{\partial V}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 V}{\partial z^2}, \quad (14)$$

а условия (11)-(12) примут вид:

$$V(z, 0) = 0; \quad (15)$$

$$\left. \frac{\partial V}{\partial z} \right|_{z=0} = R \exp((0,25 + f)\tau) + (f + sd)\exp(0,25\tau) + V(0, \tau)(0,5 + s). \quad (16)$$

Для решения уравнения (14) применим к нему интегральное преобразование Лапласа. Тогда с учетом (15) решением такого уравнения будет

$$\bar{V}(z, p) = c_1 \exp(-z\sqrt{p}), \quad (17)$$

где $\bar{V}(z, p) = \int_0^\infty V(z, \tau)\exp(-p\tau)d\tau$; c_1 – постоянная интегрирования,

которая определяется из условия (16), предварительно подвергнутого интегральному преобразованию Лапласа.

Подвергнув полученное таким образом выражение обратному интегральному преобразованию и воспользовавшись интегралом свертки

[7], а также с учетом (13) окончательно получим

$$\begin{aligned} \theta(z, \tau) = & Rf^{-1} \exp(-0,5z) \int_0^{\tau} \exp(-(0,25+f)\xi) \left\{ (\pi\xi)^{-0,5} \exp\left(-\frac{z^2}{4\xi}\right) - \right. \\ & - (0,5+s) \exp((0,5+s)z) \exp((0,5+s)^2\xi) \operatorname{erfc}\left(\frac{z}{2\sqrt{\xi}} + (0,5+s)\sqrt{\xi}\right) \left. \right\} d\xi + \\ & + (f+ds)f^{-1} \exp(-f\tau) \exp(-0,5z) \int_0^{\tau} \exp(-0,25\xi) \left\{ (\pi\xi)^{-0,5} \exp\left(-\frac{z^2}{4\xi}\right) - \right. \\ & - (0,5+s) \exp((0,5+s)z) \exp((0,5+s)^2\xi) \operatorname{erfc}\left(\frac{z}{2\sqrt{\xi}} + (0,5+s)\sqrt{\xi}\right) \left. \right\} d\xi + \\ & + df^{-1}(1 - \exp(-f\tau)) + (1 - \exp(-z)) \exp(-f\tau). \end{aligned} \quad (18)$$

При тушении горящей жидкости мелкораспыленной водой интерес представляет распределение температуры на поверхности жидкости. С этой целью, полагая в (18) $z = 0$ и интегрируя оба интеграла в этом выражении по частям, получим

$$\begin{aligned} \theta(\tau) = & \frac{fn - sh}{2f(s(s+1) - f)} \left[(1+2s) \left[1 - \exp((s(s+1) - f)\tau) \operatorname{erfc}((0,5+s)\sqrt{\tau}) \right] - \right. \\ & - (1-4f)^{0,5} \operatorname{erf}(0,5((1+4f)\tau)^{0,5}) \left. \right] + \frac{f(1+sg) + sh}{2fs(s+1)} \exp(-f\tau) \left[(1+2s) \times \right. \\ & \times \left[1 - \exp(s(s+1)\tau) \operatorname{erfc}((0,5+s)\sqrt{\tau}) \right] - \operatorname{erf}(0,5\sqrt{\tau}) \left. \right] + \\ & + \frac{fg + h}{f} (1 - \exp(-f\tau)). \end{aligned} \quad (19)$$

Для случая, когда имеет место слабое испарение капель воды, $n = h = 0$ и тогда выражение (19) трансформируется к виду

$$\begin{aligned} \theta(\tau) = & \frac{1+sg}{s(s+1)} \exp(-f\tau) \left[(1+2s) \left[1 - \exp(s(s+1)\tau) \operatorname{erfc}((0,5+s)\sqrt{\tau}) \right] - \operatorname{erf}(0,5\sqrt{\tau}) \right] + \\ & + g(1 - \exp(-f\tau)). \end{aligned} \quad (20)$$

В этом выражении можно предположить $g = 1$, если предположить, что $T_B = T_0$.

На рис. 1, 2 приведены зависимости $\theta(s, \tau)$ при $f = 0,01$ и $f = 0,95$ соответственно.

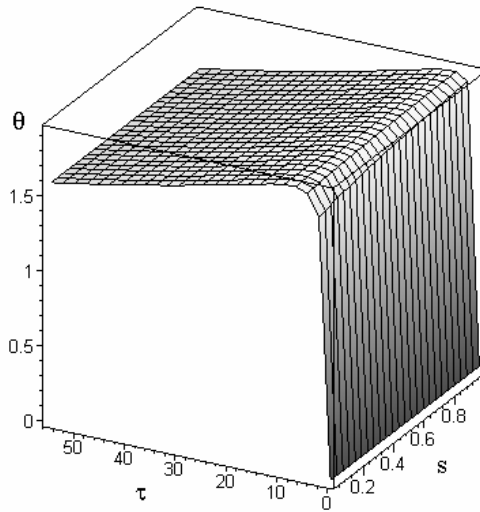


Рис.1 – Зависимость $\theta(s, \tau)$ при $f = 0,01$

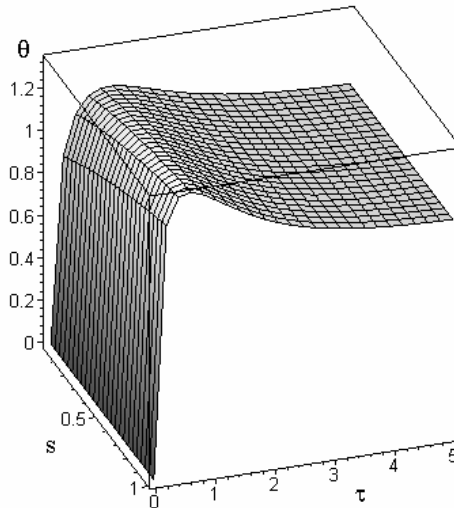


Рис.2 – Зависимость $\theta(s, \tau)$ при $f = 0,95$

Анализ этих зависимостей свидетельствует, что:
 – при слабом испарении капель воды и при слабой зависимости коэффициента испарения K_2 от температуры функция $\theta(\tau)$ является

практически инвариантной относительно параметра s (рис.1), а процесс тушения очень сильно затянут во времени;

– увеличение влияния температуры на коэффициент испарения K_2 (рис.2) приводит к тому, что возрастает влияние на функцию $\theta(\tau)$ параметра s , а время тушения имеет тенденцию к уменьшению.

Таким образом, в случае слабого испарения капель воды получены модели объекта управления системы автоматического пожаротушения, в качестве которого используется горящая жидкость. Модели представлены в безразмерной форме.

1.Цариченко С.Г. Состояние вопроса использования тонкораспыленной воды при тушении пожаров // Алгоритм безопасности. – 2003. – №2. – С.14-16.

2.Котов А.Г. Пожаротушение и системы безопасности. – К.: Репро-Графика, 2003. – 270 с.

3.Пожаротушение. Программные комплексы систем автоматического водяного, пенного, аэрозольного и газового пожаротушения. – Харьков: АГЗУ, 2004. – 114 с.

4.Абрамов Ю.А., Садковой В.П. Алгоритм синтеза систем автоматического пожаротушения // Науковий вісник будівництва. Вип.36. – Харків: ХТУБА, 2006. – С.199-202.

5.Садковой В.П., Абрамов Ю.А. Модели объекта управления системы водяного автоматического пожаротушения // Проблемы пожарной безопасности. Вип.20. – Харьков: УГЗУ, 2006. – С.74-81.

6.Блинов В.И., Худяков Г.Н. Диффузионное горение жидкостей. – М.: АН СССР, 1961. – 208 с.

7.Абрамов Ю.А. Основы пожарной автоматики. – Харьков: ХИПБ, 1993. – 288 с.

Получено 12.10.2006

СТРОИТЕЛЬСТВО

УДК 547.187

Ю.В.ГЛАЗУНОВ, канд. техн. наук

Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, г.Харьков

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПОД НАГРУЗКОЙ

Рассматриваются конструктивные формы сталебетонных стержней, особенности их работы в нагруженном состоянии. Проведено исследование прочности и деформации бетона в конструкциях с внешним армированием. Даны рекомендации по применению конструкций из сталебетона.

Особенностью сталежелезобетонных конструкций является эффективная совместная работа в составе единой конструкции стальных и железобетонных элементов. Сталежелезобетонные пролетные строения являются современным специфическим видом мостовых конст-